

PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS SISTEM TENAGA MULTI MESIN DENGAN PEMASANGAN UPFC BERBASIS STABILIZER PADA SALURAN TRANSMISI

*Oriza Candra*¹

¹*Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang*

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan guna menyelidiki kemampuan Unified Power Flow Controller (UPFC) berbasis stabilizer dalam perbaikan stabilitas dinamis sistem tenaga listrik. Unified Power Flow Controller dipasang pada saluran transmisi dan model sistem tenaga listrik didasarkan pada analisis multi mesin yang terhubung secara interkoneksi.

Penelitian ini diawali dengan membuat simulasi sistem tenaga listrik sebelum dan sesudah pemasangan UPFC pada saluran transmisi. Kemampuan sistem tenaga listrik yang dipasang UPFC berbasis stabilizer pada saluran transmisi dapat meredam osilasi lebih baik jika dibandingkan dengan sebelum pemasangan UPFC, maka dilakukan pengujian dengan memberi gangguan kecil berupa pelepasan beban pada bus indarung, kemudian diamati unjuk kerja tanggapan sudut ayunan rotor, tegangan, dan perubahan daya listrik.

Hasil penelitian menunjukkan pemasangan UPFC berbasis stabilizer dapat memberikan redaman yang lebih baik dibanding sistem tenaga listrik sebelum pemasangan UPFC yang terlihat dari perubahan overshoot dan perbaikan waktu osilasi. Besarnya perubahan overshoot antara 0,0068 – 0,41 dan perbaikan waktu osilasi antara 37,7 % - 74 %.

Kata kunci: *UPFC, stabilizer, sistem multi mesin.*

1. PENDAHULUAN

Sistem tenaga saat ini merupakan sistem yang terinterkoneksi dimana PWM, kemudian sistem tenaga listrik yang dipasang UPFC dibentuk ke dalam persamaan differensial linier dan dibentuk dalam persamaan ruang keadaan, sehingga diperoleh empat sinyal masukan UPFC. UPFC berbasis stabilizer diterapkan dengan sinyal masukannya dari perubahan kecepatan putaran rotor, dan sinyal keluarannya diterapkan ke masukan UPFC. Power system stabilizer (UPFC) yang diberikan ke AVR tidak diterapkan dan penelitian dilakukan menggunakan sistem mesin tunggal yang dihubungkan ke bus tidak terbatas (Irwanto 2002).

Penelitian di atas sangat menarik, namun timbul masalah karena saat ini suatu sistem tenaga terdiri dari beberapa mesin yang terinterkoneksi. Oleh karenanya perlu kajian tentang pemasangan UPFC berbasis stabilizer pada sistem multi mesin yang terhubung oleh saluran transmisi jika terjadi gangguan kecil pada sistem.

Permasalahan pada tulisan ini, Bagaimana pengaruh pemasangan UPFC

berbasis stabilizer pada saluran transmisi terhadap perbaikan stabilitas dinamis sistem tenaga multi mesin yang menyangkut variabel sudut ayunan rotor, tegangan, dan daya elektrik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian untuk menyelidiki perbaikan stabilitas dinamis sistem tenaga listrik dengan pemasangan UPFC (Unified Power Flow Controller) pada saluran transmisi, dengan kedua pensaklaran UPFC (VSC-E dan VSC-B) menggunakan PWM kemudian sistem tenaga listrik yang dipasang UPFC dibentuk ke dalam persamaan differensial linier dan dibentuk dalam persamaan ruang keadaan, sehingga diperoleh empat sinyal masukan UPFC. UPFC berbasis stabilizer diterapkan dengan sinyal masukannya dari perubahan kecepatan putaran rotor, dan sinyal keluarannya diterapkan ke masukan UPFC. power system stabilizer (UPFC) yang diberikan ke AVR tidak diterapkan dan penelitian dilakukan menggunakan sistem mesin tunggal yang dihubungkan ke bus tidak terbatas (Irwanto 2002).

Penelitian Limyingcharoen (2000), UPFC dapat meningkatkan stabilitas sistem

tenaga, menjaga keandalan untuk meningkatkan aliran daya. Kriteria sama luas digunakan di dalam konjungsi dengan fungsi transien untuk menentukan efektivitas dari tiga parameter kendali di dalam meningkatkan stabilitas transien mesin tunggal bus tak terbatas yang menggerakkan sistem. Dan mengungkapkan bahwa kendali koordinat dari parameter UPFC menggunakan kendali *fuzzy logic* adalah sangat efektif dalam mengurangi ayunan transien pertama, meredam osilasi dan memperbaiki stabilitas transien.

Ž Zunko dkk (2002) membahas suatu pengendalian sistem yang memungkinkan UPFC untuk mengikuti perubahan didalam besaran referensi yang menyangkut daya aktif dan reaktif yang disuply dari output sistem kendali. Aplikasi praktis UPFC adalah struktur kendali yang dimodifikasi dengan suatu prediksi rangkaian kendali dan sinyal *precontrol* untuk perancangan kendali tegangan dc. Sistem kendali ini memberikan stabilitas yang lebih baik tercapainya kerja transien jika dibandingkan metoda decouplet kalsik. Ž unko dkk mempertimbangkan distorsi harmonik arus yang sedang dikendalikan.

3. LANDASAN TEORI

3.1. Model Sistem Tenaga Listrik Dengan Pemasangan UPFC

Gambar 1 merupakan model sistem tenaga listrik multi mesin yang dipasang UPFC. Pada gambar ditunjukkan sistem tenaga listrik yang terdiri dari n mesin, dengan mengabaikan rugi-rugi diasumsikan sistem tenaga yang dipasang UPFC antara node 1 dan node 2 dalam suatu saluran. Jenis saluran ini mencakup fungsi UPFC dengan matrik admitansi saluran Y, dimana terdapat n generator, diasumsikan bagian pertama dari bentuk Y dengan inisial matrik admitansi sistem Y_t , dimana yang dijaga node 1 dan 2. Maka bentuk persamaannya adalah:

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ I_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_g \end{bmatrix} = Y_t \begin{bmatrix} V_1 \\ V_2 \\ V_g \end{bmatrix}$$

dengan

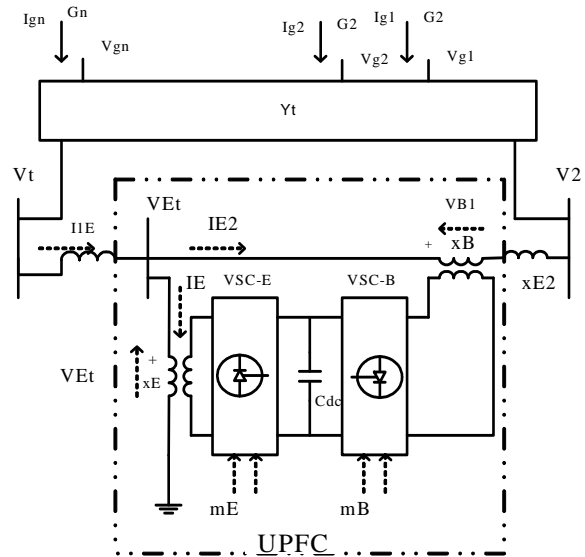
$$I_g = [I_{g1} I_{g2} \dots I_{gn}]^T, V_g = [V_{g1} V_{g2} \dots V_{gn}]^T$$

Dengan menerapkan transformasi Park dan dengan mengabaikan resistansi dan peralihan transformator UPFC, persamaan dapat ditulis :

$$V_{Et} = jx_E I_E + V_{Bt} = jx_B I_{E2} + V_B$$

$$V_E = \frac{m_E V_{dc}}{2} (\cos \delta_E + j \sin \delta_E) = \frac{m_E V_{dc}}{2} e^{j\delta_E} \quad \dots\dots\dots 2$$

$$V_B = \frac{m_B V_{dc}}{2} (\cos \delta_B + j \sin \delta_B) = \frac{m_B V_{dc}}{2} e^{j\delta_B}$$



Gambar 1. UPFC yang dipasang pada sistem tenaga multi mesin.

$$Y_t' = \begin{bmatrix} Y_{11}' - \frac{j(x_E + x_{E2} + x_B)}{x_\Sigma} & \frac{jx_E}{x_\Sigma} \\ \frac{jx_E}{x_\Sigma} & Y_{22}' - \frac{j(x_{IE} + x_E)}{x_\Sigma} \end{bmatrix}$$

Untuk sistem tenaga dengan n mesin, tegangan terminal dari generator dapat dibuat dalam koordinat bersama:

$$V_g = E_q' - jx_d' I_g - j(x_q - x_d') I_q \quad \dots\dots\dots 3$$

$$I_q = [I_{q1} \ I_{q2} \ \dots \ I_{qn}]^T$$

$$x_d' = \text{diag}[x_{di}'], x_q = \text{diag}[x_{qi}']$$

Dari persamaan 6 dan 7 diperoleh:

$$I_g = C_d [E_q' - j(x_q - x_d') I_q + C_E V_E + C_B V_B] \quad \dots\dots\dots 4$$

dengan :

$$C_d = (C^{-1} + jx_d')^{-1}$$

$$C_E = C^{-1} F_E$$

$$C_B = C^{-1} F_B$$

dalam koordinat $d_i - q_i$

$$I_G = I_g e^{j\delta} = \sum_{k=1}^n C_{dk} \left[E_{fk} e^{j(90^\circ + \delta_k - \delta)} + (x_{fk} - x'_{fk}) e^{j(\delta_k - \delta)} I_{fk} + C_{Bk} V_E e^{j\delta} + C_{Bk} V_B e^{j\delta} \right]$$

maka : $C_{dik} = C_{dik} e^{j\beta_{dik}}$, $C_{Ek} = C_{Ek} e^{j\beta_{Ek}}$, $C_{Bi} = C_{Bk} e^{j\beta_{Bk}}$

Persamaan linier Phillips-Heffron untuk model sistem tenaga dengan pemasangan FACTS adalah:

$$\Delta I_q = Y_q \Delta \delta + F_q \Delta E'_q + G_q \Delta v_{dc} + H_{Eq} \Delta m_E + H_{Bq} \Delta m_B + R_{Eq} \Delta \delta_E + R_{Bq} \Delta \delta_B$$

$$\Delta I_d = Y_d \Delta \delta + F_d \Delta E'_q + G_d \Delta v_{dc} + H_{Ed} \Delta m_E + H_{Bd} \Delta m_B + R_{Ed} \Delta \delta_E + R_{Bd} \Delta \delta_B$$

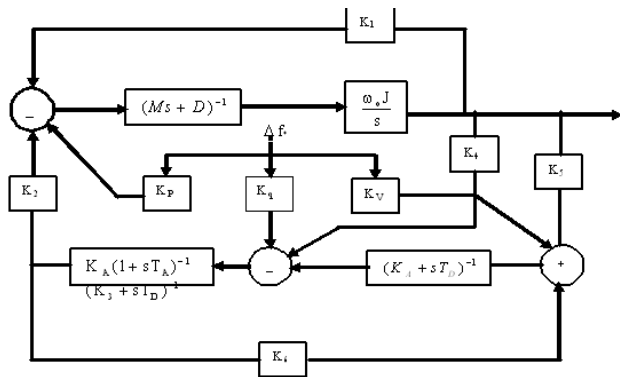
Karena itu, model dinamis linier pada persamaan ditunjukkan dengan diagram blok gambar 2.

$$\Delta f_* = \begin{bmatrix} \Delta v_{dc} & \Delta u_k \end{bmatrix}$$

$$K_P = \begin{bmatrix} M^{-1} & K_{pd} \\ M^{-1} & K_{puk} \end{bmatrix}$$

$$K_q = \begin{bmatrix} T_{d0}^{t-1} & K_{qd} \\ T_{d0}^{t-1} & K_{quk} \end{bmatrix}$$

$$K_V = \begin{bmatrix} T_A^{-1} & K_A K_{vd} \\ T_A^{-1} & K_A K_{vuk} \end{bmatrix}$$



Gambar 2. Model Phillips-Heffron dari sistem tenaga multi mesin yang dipasang UPFC berbasis Stabilizer (Song, Y.H., and John A.T., 1999)

4. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui tanggapan dari pembangkit di Sumbar-Riau bila terjadinya pelepasan beban disuatu bus.

4.1. Persiapan Data

Untuk studi stabilitas dinamis, data-data yang diperlukan adalah sebagai berikut :

1. Data aliran daya sebelum gangguan untuk menghitung tegangan-tegangan terminal mesin dan besarnya daya yang dibangkitkan
2. Transmisi
3. Beban

4.2. Langkah-langkah Studi Stabilitas Sistem Tenaga Listrik

Langkah-langkah untuk menganalisa kestabilan dinamis suatu sistem tenaga listrik dapat diringkaskan sebagai berikut :

- a. Membentuk simulasi system tenaga listrik
- b. Berikan simulasi gangguan di salah satu bus tanpa UPFC
- c. Analisa respon pembangkit
- d. Gunakan UPFC
- e. Ulangi langkah 3 dan 4
- f. membandingkan hasil analisis sebelum dan sesudah digunakan UPFC

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Sistem Tenaga Listrik Yang Ditinjau

Sistem tenaga listrik yang di tinjau adalah sistem tenaga listrik di Sumatera Barat - Riau, sistem ini terdiri dari beberapa pusat pembangkit yaitu :

- Maninjau dengan kapasitas pembangkit sebesar 68 MW
- Koto Panjang dengan kapasitas pembangkit sebesar 114 MW
- Singkarak dengan kapasitas pembangkit sebesar 175 MW
- Ombilin dengan kapasitas pembangkit sebesar 200 MW

Total kapasitas daya terpasang sebesar 557 MW melayani beban sebesar 451.200 MW melalui transmisi sepanjang 851,282 km (data pada Juli 2007).

Sistem Tenaga Listrik Sumatera Barat – Riau dapat dilihat pada diagram satu garis pada gambar 5.1.

5.2. Data Pembangkit dan Beban

Data-data pembangkit dan data beban dapat dilihat dari table 5.1

Tabel 5.1. Data pembangkit pada sistem tenaga listrik Sumatera Barat – Riau

No	Lokasi	Unit generator	Kapasitas (MW)
1	Maninjau	G1	17
		G2	17
		G3	17
		G4	17
2	Koto Panjang	G5	38
		G6	38
		G7	38
3	Singkarak	G8	43.750
		G9	43.750
		G10	43.750
		G11	43.750
4	Ombilin	G12	100
		G13	100
	Jumlah		557

5.3. Data-data Beban Sistem Tenaga Listrik Sumatera Barat - Riau

Tabel 5.2. menunjukkan data-data beban sistem pembangkit tenaga listrik Sumatera Barat - Riau, yang terjadi pada bulan Juli 2007.

Tabel 5.2. data beban sistem pembangkit tenaga listrik Sumatera Barat - Riau

NO	PUSAT BEBAN	BEBAN
		MW
1	Maninjau	14,00
2	Lubuk Alung	17,50
3	Pauh Limo	23,20
4	Simpang Haru	56,60
5	PIP	18,90
6	Indarung	59,00
7	Solok	16,100
8	Salak	9,50
9	Batusangkar	7,70
10	Payakumbuh	15,80
11	Koto panjang	10,80
12	Bengkinang	12,50
13	Garuda sakti	56,70
14	Teluk lembu	45,20
15	Duri /Dumai	43,20
16	Kiliranjao	16,40
17	Padang Luar	28,10
Jumlah		451,20

5.4. Data Impedansi Saluran Sistem Pembangkit Sumatera Barat Riau

Data impedansi system tenaga listrik Sumbar Riau dapat dilihat pada table 5.3

Tabel 5.3. Data impedansi saluran transmisi

No	RUTE		P(Km)	IMPEDANSI				Y/2 (PU)
	DARI	KE		R1	JX1	R0	JX0	
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Ombilin	Indarung	63,951	7,544	27,114	39,777	116,0690	0,01746
2	Ombilin	Salak	2,417	0,286	1,026	1,558	4,3750	0,00086
3	Salak	Solok	27,480	3,266	12,851	17,092	49,8760	0,00854
4	Solok	Indarung	34,054	4,019	14,851	19,850	62,3790	0,00930
6	Indarung	Pauh Limo	6,660	0,738	14,369	4,369	12,0213	0,00262
7	Pauh Limo	Spang Haru	7,000	0,820	2,823	4,364	12,6210	0,00239
8	Pauh Limo	LB Alung	33,700	3,975	2,968	20,961	61,1655	0,01047
9	Pauh Limo	PI Padang	20,000	2,000	14,288	11,660	36,6400	0,00273
11	PI Padang	LB Alung	13,700	1,666	8,480	7,987	25,0984	-
13	LB Alung	Singkarak	12,000	1,020	5,808	6,660	21,8760	0,00331
14	LB Alung	Maninjau	56,700	6,600	4,980	33,056	103,8744	0,01548
15	Maninjau	Pdg Luar	42,000	1,020	24,040	13,818	52,4580	0,01435
16	Pdg Luar	Payakumbuh	32,000	6,609	17,136	10,528	39,9680	0,01093
17	Payakumbuh	Btg Agam	15,000	4,950	13,056	9,955	34,6310	0,00007
18	Payakumbuh	Koto Panjang	85,100	3,770	4,931	46,972	155,7330	0,02247
19	Ombilin	Batusangkar	32,610	2,230	35,061	10,042	40,6270	0,01095
20	Batusangkar	Payakumbuh	26,110	7,266	12,911	8,040	32,5280	0,00877
21	Bengkinang	Grd Sakti	46,800	2,775	18,860	28,407	83,9592	0,18650
22	Grd Sakti	Duri Dumai	117,00	13,800	49,140	65,403	205,5690	0,01531
23	Grd Sakti	Tlk Lembu	23,000	1,540	9,269	13,984	41,2620	0,00458
24	Ombilin	Kiliranjao	154,00	3,255	2,968	20,961	61,1655	0,01047

5.5. Hasil Penelitian

Seperti yang telah di uraikan, dalam studi stabilitas sistem tenaga listrik di Sumatera Barat Riau terdiri dari beberapa tahap yang dimulai dengan studi aliran daya, simulasi gangguan, analisis respon dari setiap pembangkit sebelum menggunakan *Unified Power Flow Controller (UPFC)* dan analisa respon dari setiap pembangkit setelah menggunakan *Unified Power Flow Controller (UPFC)*. Seluruh perhitungan dalam penelitian ini dilakukan dengan bantuan perangkat komputer .

5.6. Tanggapan Pembangkit Tenaga Listrik Saat Pelepasan Beban

Terjadinya perubahan beban tiba-tiba pada bus Indarung mengakibatkan sistem pembangkit tenaga listrik di Sumatera Barat Riau mengalami gangguan. Gangguan-gangguan yang terjadi diakibatkan oleh adanya pelepasan beban tersebut antara lain: Perubahan sudut rotor,

terjadinya osilasi tegangan, frekuensi dan penurunan daya elektrik pada masing-masing pembangkit tenaga listrik di Sumatera Barat Riau. Respon dari masing-masing pembangkit tersebut ditunjukkan pada gambar. Tanggapan yang diamati yaitu berupa sudut rotor, tegangan dan daya elektrik yang terjadi pada saat pelepasan beban pada bus Indarung.

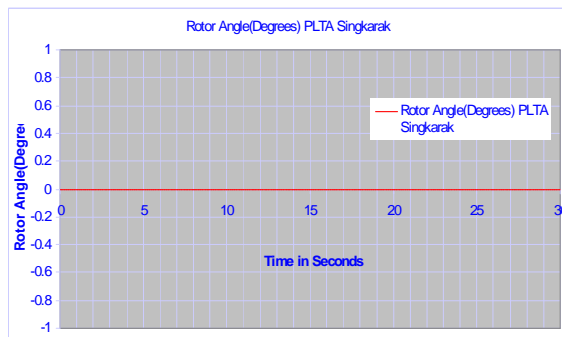
5.6.1. Tanggapan Pembangkit Singkarak

Tanggapan pembangkit Singkarak saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung ditunjukkan pada gambar 5.1, 5.2 dan 5.3 yang berupa tanggapan sudut rotor, tegangan dan daya elektrik.

5.6.1.1 Tanggapan Sudut Rotor

Tanggapan sudut rotor sebelum dan sesudah pemasangan *UPFC* ditunjukan pada gambar 5.1.

Dalam kasus ini pembangkit Singkarak difungsikan sebagai referensi dan tidak adanya perubahan atau penggeseran sudut rotor.

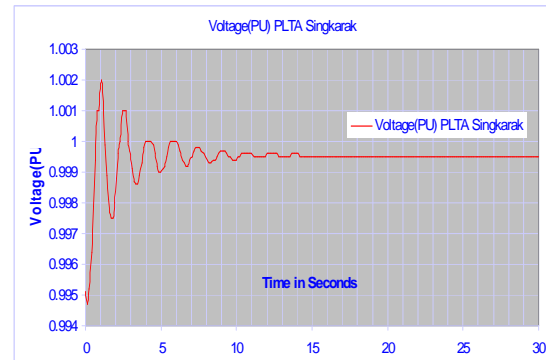


Gambar 5.1. Tanggapan sudut rotor pembangkit Singkarak sebelum dan sesudah menggunakan *UPFC*

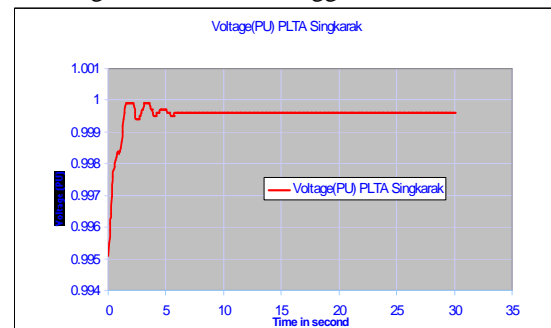
5.6.1.2. Tanggapan Tegangan

Tanggapan tegangan sebelum dan sesudah pemasangan *UPFC* ditunjukan pada gambar 5.1.a dan 5.1.b.

Sebelum pemasangan *Unified Power Flow Controller (UPFC)* pada gambar 5.1.a menunjukan bahwa saat terjadinya perlepasan beban pada bus Indarung. Tegangan pada pembangkit Singkarak mengalami osilasi selama 14,322 detik dengan *overshoot* 0.0068 pu. Setelah pemasangan *UPFC* pada gambar 5.1.b menunjukan sistem tersebut mengalami redaman waktu osilasi dari 14,322 detik (gambar 5.2.a) menjadi 6,076 detik (gambar 5.2.b), sehingga mengalami perbaikan sebesar 8,25 detik atau 57,57 %



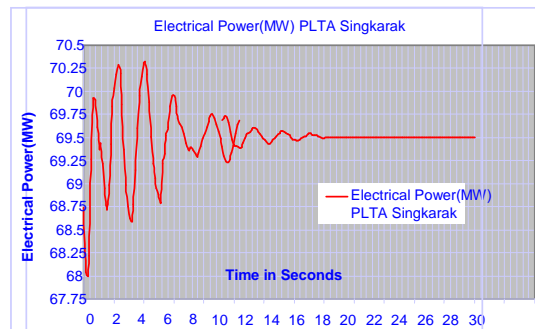
Gambar 5.2. a. Tanggapan tegangan pembangkit Singkarak sebelum menggunakan *UPFC*



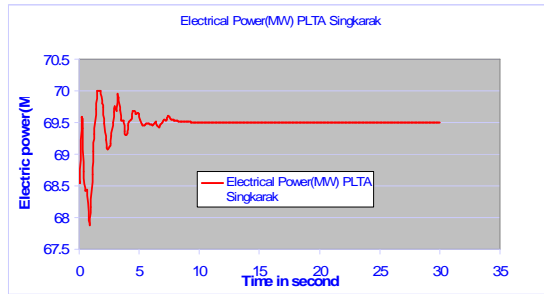
Gambar 5.2. b. Tanggapan tegangan pembangkit Singkarak sesudah menggunakan *UPFC*

5.6.1.3. Tanggapan daya elektrik

Tanggapan daya elektrik untuk sistem pembangkit Singkarak pada saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung ditunjukkan pada gambar 5.3.a dan 5.3.b.



Gambar 5.3. a. Tanggapan daya elektrik pembangkit Singkarak sebelum menggunakan *UPFC*



Gambar 5.3.b. Tanggapan daya elektrik pembangkit Singkarak sesudah menggunakan UPFC

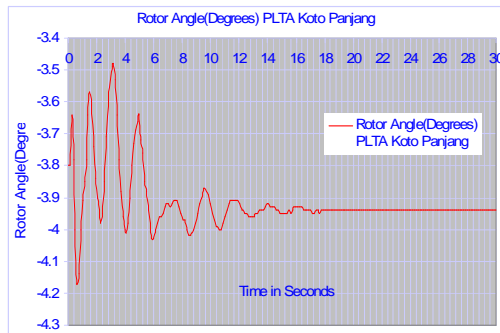
Daya elektrik saat sebelum dan sesudah pemasangan UPFC pada sistem pembangkit Singkarak (gambar 5.3.a dan 5.3.b) terjadi pelepasan beban pada bus Indarung mengalami penurunan dari 70.25 MW menjadi 70 MW yang beresilasi selama 9,4 detik. Namun waktu osilasi mengalami perbaikan dari 15,09 detik menjadi 9,4 detik atau mengalami perbaikan selama 5,69 detik atau 37,7 % setelah pemasangan UPFC.

5.6.2. Tanggapan Pembangkit Koto Panjang

Tanggapan pembangkit Koto Panjang saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung ditunjukkan pada gambar 5.4, 5.5 dan 5.6 yang merupakan tanggapan sudut rotor, tegangan dan daya elektrik.

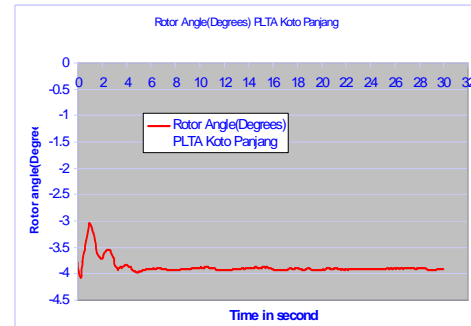
5.6.2.1 Tanggapan sudut rotor

Tanggapan sudut rotor sebelum dan sesudah pemasangan UPFC ditunjukkan pada gambar 5.4.a dan 5.4.b



Gambar 5.4.a. Tanggapan sudut rotor pembangkit Koto Panjang sebelum menggunakan UPFC

Dari pengamatan gambar 5.4.a. menunjukkan bahwa pada saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung, pembangkit Koto Panjang mengalami pergeseran sudut rotor dari -3.95° menjadi -3.9° atau terjadi pergeseran sudut rotor sebesar 0.05° mengalami penurunan sebesar 1.27 % dengan overshoot 0.41° . Lamanya osilasi sudut rotor saat terjadinya gangguan yaitu selama 17.904 detik.



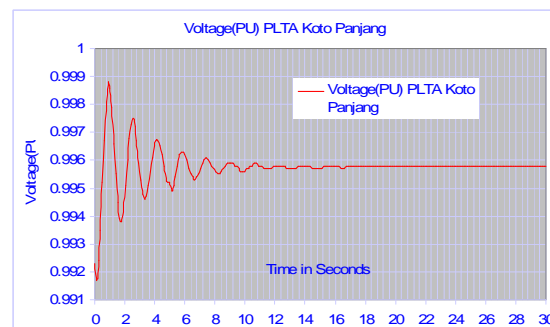
Gambar 5.4.b Tanggapan sudut rotor pembangkit Koto Panjang setelah menggunakan UPFC

Pembangkit tenaga listrik Koto Panjang setelah pemasangan UPFC pada gambar 5.4.b. memberikan redaman terhadap lamanya waktu osilasi. Dari pengamatan gambar 5.4.a dan 5.4.b waktu osilasi sudut rotor mengalami penurunan dari 17.904 detik menjadi 7,7 detik, sehingga mengalami perbaikan waktu osilasi selama 10,204 detik. Ini menunjukkan pemasangan UPFC pada pembangkit Koto Panjang memberikan unjuk kerja sistem yang baik.

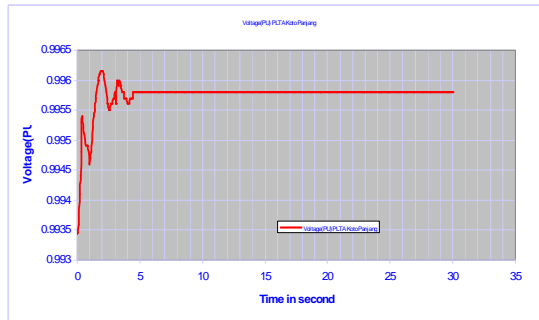
5.6.2.2. Tanggapan tegangan

Tanggapan tegangan sebelum dan sesudah pemasangan UPFC ditunjukkan pada gambar 5.5.a dan 5.5.b.

Sebelum pemasangan UPFC pada gambar 5.5.a menunjukkan saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung, tegangan pada pembangkit Koto Panjang mengalami osilasi selama 16.88 detik dengan overshoot 0.068 pu. Namun hasil pengamatan setelah pemasangan UPFC pada gambar 5.5.b menunjukkan sistem tersebut mengalami peredaman waktu osilasi dari 16.88 detik (gambar 5.5.a) menjadi 4,372 detik atau 74 % (gambar 5.5.b), sehingga mengalami perbaikan sebesar 12,51 detik.



Gambar 5.5.a. Tanggapan tegangan pembangkit Koto Panjang sebelum menggunakan UPFC

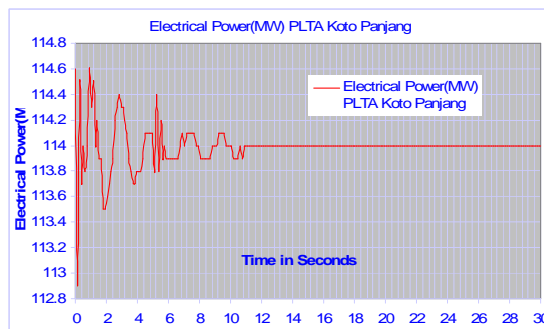


Gambar 5.5.b Tanggapan tegangan pembangkit Koto Panjang setelah menggunakan *UPFC*

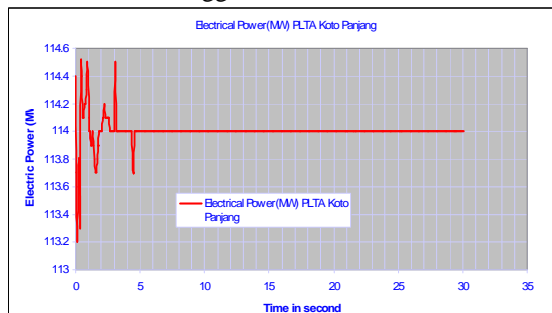
5.6.2.3. Tanggapan daya elektrik

Tanggapan daya elektrik untuk sistem pembangkit Koto Panjang saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung ditunjukkan pada gambar 5.6.a dan 5.6.b.

Daya elektrik pada sistem pembangkit Koto Panjang (gambar 5.6.a) saat terjadinya pelepasan beban pada bus Indarung tidak mengalami perubahan, daya yang diberikan adalah 200 MW dan berosilasi selama 11,126 detik. Namun setelah pemasangan *UPFC* waktu osilasi mengalami perbaikan dari 11,126 detik menjadi 4,86 detik atau mengalami perbaikan selama 6,266 detik atau 56,32 % (gambar 5.6.b).



Gambar 5.6.a. Tanggapan daya elektrik pembangkit Koto Panjang sebelum menggunakan UPFC

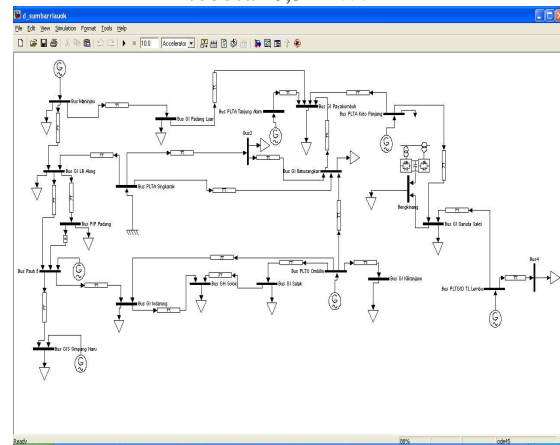


Gambar 5.6.b Tanggapan daya elektrik pembangkit Koto Panjang sesudah menggunakan UPFC

Dari hasil pengamatan respon untuk setiap pembangkit tenaga listrik di Sumatera Barat - Riau, menunjukkan kinerja pembangkit-pembangkit tersebut saat ini sudah sangat baik untuk menanggapi berbagai gangguan terutama saat pelepasan beban tiba-tiba pada bus Indarung. Namun penggunaan *Unified Power Flow Controller (UPFC)* sebagai kompensasi masih sangat memungkinkan untuk mendapat kinerja sistem yang lebih baik.

Dari hasil pembahasan menunjukkan pergeseran sudut rotor pada sistem pembangkit tenaga listrik Sumatera Barat - Riau akibat pelepasan beban pada bus Indarung berkisar antara $0 - 0,005^{\circ}$.

Lamanya osilasi tegangan pada saat pelepasan beban tersebut berkisar antara 4,372 – 9,4 detik sebelum penggunaan UPFC dan setelah penggunaan UPFC osilasi tegangan berkurang berkisar antara 5,69 – 12,51 detik . Osilasi tegangan yang terlama terjadi pada tanggapan tegangan pembangkit Koto Panjang sebesar 12,51 detik (sesudah menggunakan UPFC). Penurunan daya elektrik sebelum dan sesudah pemakaian *Unified Power Flow Controller (UPFC)* terjadi pada pembangkit Singkarak, sebesar 0,5 MW.



Gambar 5.7. Simulasi dengan pemasangan UPFC

6. KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari hasil studi stabilitas sistem tenaga untuk sistem tenaga listrik di Sumatera Barat - Riau dapat disimpulkan :

1. Unjuk kerja dari setiap pembangkit tenaga listrik di Sumatera Barat - Riau terhadap pelepasan beban pada bus Indarung saat ini cukup baik, ditinjau dari tanggapan sudut rotor, tegangan dan daya elektrik untuk generator pada pembangkit saat terjadinya

pelepasan beban pada bus Indarung. Perubahan sudut rotor untuk dua pembangkit berkisar $0^0 - 0,005^0$, dengan lamanya waktu osilasi tegangan berkisar antara 17.904 detik dan *overshoot* pembangkit referensi 0,0068 dan *overshoot* koto panjang 0,41

2. Pemasangan unified power flow controller (UPFC) sebagai kompensasi pada sistem tenaga listrik Sumatera Barat - Riau dapat memberikan kontribusi unjuk kerja sistem yang lebih baik dengan perbaikan waktu osilasi antara 37,7 % - 74 %.

6.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka hal yang dapat disarankan untuk peneliti selanjutnya

1. Kestabilan sistem dipengaruhi oleh gangguan kecil seperti perubahan beban yang dinamis atau gangguan besar seperti hubung singkat. Berkaitan dengan itu perlu adanya lanjutan untuk meninjau kembali respon dari pembangkit bila terjadinya hubung singkat pada sistem tenaga listrik Sumatera Barat - Riau.
2. Perlu adanya penelitian terhadap penggunaan *Unified Power Flow Controller* (UPFC) terutama dalam hal penyettingan nilai-nilai time konstan pada UPFC agar mendapatkan hasil yang optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Despurwanto dan Soepriyanto, 2002, Penggunaan UPFC Dalam Menjaga Kestabilan Tegangan Sistem Interkoneksi Jawa-Bali, Proc. SSTE III, Power Sistem Kontrol, Volume IV, hal 41-46.
- Irwanto M., 2002, Perbaikan Stabilitas Dinamis Sistem Tenaga Listrik Dengan Pemasangan UPFC Berbasis Stabilizer Pada Saluran Transmisi, UGM., Jogjakarta.
- Kundur, P., 1993, Power System Stability and Control, pp 699-822, McGraw-Hill, Inc., Toronto, U.S.A.
- Limyingcharoen, S., Annakkage, 2000, *The Applications of Unified Power Flow Controllers in Improving Power System Stability*, Research, University of Auckland.
- Mihalic R. and Papic I., 2002, *Power Transmisi Control Using Unified Power Flow Controller*, Fakulty of Electrical Engineering, Slovenia.

Song, Y.H., and John A.T., 1999, *Flexible ac Transmission Syatem (FACTS)*, pp. 398-403, Institut of Electrical Engineers, United Kingdom.

Toufan, M., and Annakkage, U.D., 1998, *Simulation of the Unified Power Flow Controller Performance Using PSCAD/EMTD*, Elestric Power System Research 46, pp.67-75.

Z unko, Papic, P., 2002, *Basic Cobtrol of Unified Power Flow Controller*, University of LjubljanaErlangen, Germany.